



# 300-W-Stereo- Leistungsverstärker DA 300

**Die hier eingesetzte digitale Endstufentechnologie von Tripath (Class T) liefert Klangeigenschaften wie ein traditioneller A/B-Verstärker mit der Effizienz eines pulsweitenmodulierten Verstärkers.**

## Allgemeines

Der wesentliche Vorteil eines Digitalverstärkers ist die hohe Effizienz mit bis zu 90 % Wirkungsgrad. Das erforderliche Netzteil muss dadurch erheblich weniger Leistung zur Verfügung stellen und die in der Endstufe benötigten Kühlkörper können aufgrund der geringen Verlustwärme entsprechend kleiner ausfallen.

Herkömmliche Digital-Verstärker in Class-D-Technologie (Pulsweiten-Modulation) haben zwar einen guten Wirkungsgrad, jedoch relativ bescheidene Klangeigenschaften, da die Effizienz mit einem hohen Klirrfaktor und Verzerrungen erkauft werden muss. Aus diesem Grund sind PWM-Verstärker nicht in höherwertigen Hifi-Verstärker-Produkten zu finden.

Im Kleinsignalebereich hingegen erfolgt heute nahezu ausschließlich eine digitale Signalverarbeitung, auch wenn am Anfang jeder Audio-Signalverarbeitung ein Analogsignal steht. Nach der Umsetzung

von einem analogen Signal in einen digitalen Bitstrom erfolgt die Verarbeitung dann meistens mit Hilfe von digitalen Signalprozessoren, wobei auch jederzeit eine verlustfreie Reproduzierbarkeit des Signals möglich ist.

Auch die Signalspeicherung in moderne

Audiogeräte erfolgt heute in der Regel ohne Qualitätseinbußen in digitaler Form.

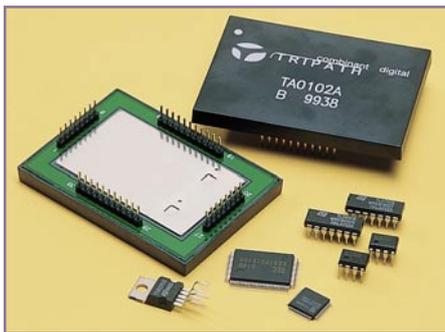
Im Bereich der Leistungsverstärker (Endstufen) konnte sich bisher die Digitaltechnik noch nicht durchsetzen, da die Klangtreue nicht mit konventionellen Linear-Verstärkern vergleichbar war.

**Tabelle 1: Technische Daten TA 0102A**

Ausgangsleistung je Kanal: .....	max. 150 W an 4 $\Omega$ (<10 % THD + N)
Dauer-Ausgangsleistung: .....	120 W an 4 $\Omega$ (<1 % THD + N)
je Kanal	65 W an 8 $\Omega$ (<1 % THD + N)
	80 W an 4 $\Omega$ (<0,1 % THD + N)
	47 W an 8 $\Omega$ (<0,1 % THD + N)
Wirkungsgrad: .....	90 % bei 80 W an 8 $\Omega$
	88 % bei 150 W an 4 $\Omega$
Klirrfaktor + Rauschen: .....	0,05 % bei 20 W an 8 $\Omega$
Signal/Rauschabstand: .....	102 dB bei 150 W an 4 $\Omega$
Kanal-Trennung: .....	85 dB bei 20 W an 8 $\Omega$
Betriebsspannung: .....	min. $\pm$ 26 V, max. $\pm$ 50 V
Mute-Eingang: .....	Logik-Pegel
- Kurzschlussfeste Ausgänge	
- Über- und Unterspannungsschutz	
- 38 Pin Quad-Gehäuse	

Die von Tripath entwickelte Digital-Power-Processing™ (DPP™)-Technologie kombiniert nun die hohe Effizienz eines Class-D (PWM)-Verstärkers mit den Klangeigenschaften eines konventionellen Verstärkers in Class-A/B-Technologie. Komplette Stereo-Verstärker-Module (Shielded Amplifier Moduls) unter der Bezeichnung COMBINANT DIGITAL sorgen für eine relativ einfache Realisierung. Mit Ausnahme der Leistungs-Schalttransistoren, sowie wenige passive Bauteile, befinden sich alle Baugruppen innerhalb des Moduls, die auf einer sogenannten Spread-Spectrum-Basis mit Abtastfrequenzen zwischen 200 kHz und 1,5 MHz arbeiten.

Der integrierte digitale Signalprozessor (DSP) lernt dabei die Parameter der Endstufen FETs, um diese dann im exakten Timing steuern zu können. Über den gesamten Audio-Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz liefern die Verstärkermodule ausgezeichnete technische Daten, wie in Tabelle 1 zu sehen ist.



**Bild 1: Im Vergleich zu Standard ICs haben die Shielded Amplifier Moduls von Tripath ungewöhnliche Abmessungen**

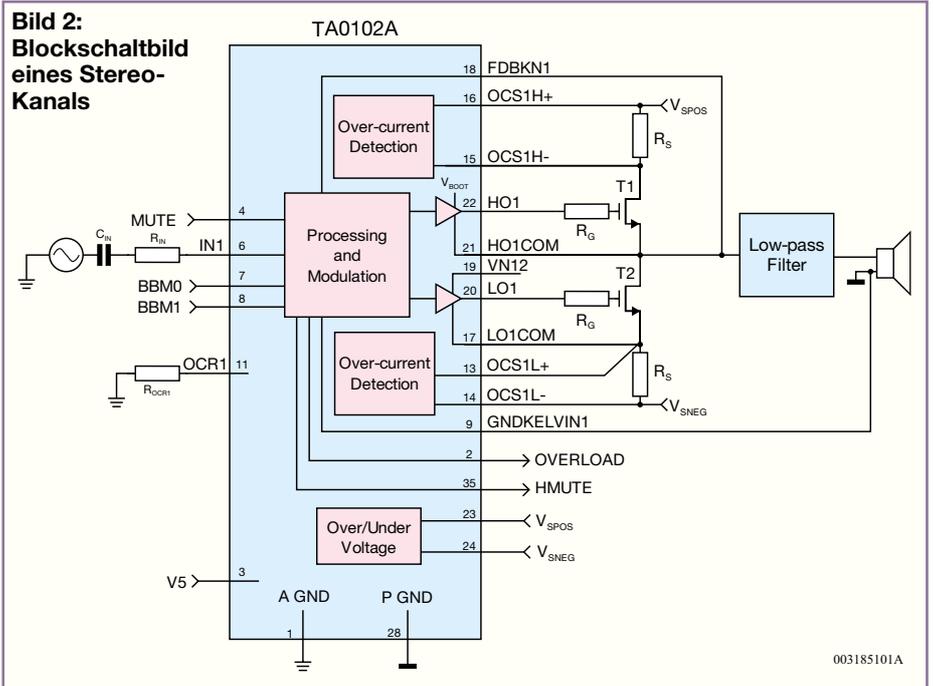
Abbildung 1 zeigt die, im Verhältnis zu Standard-ICs, ungewöhnlichen Abmessungen der Verstärkermodule. Zur Störunterdrückung verfügen die Module über eine komplette interne Metallabschirmung.

Auch wenn der Schaltungsaufwand sich in Grenzen hält, so ist zu bedenken, dass mit Abtastfrequenzen zwischen 200 kHz und 1,5 MHz bei hohen Strömen gearbeitet wird.

Die Leiterbahnführung des Layouts ist daher sowohl für eine einwandfreie Funktion als auch bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) besonders wichtig. Neben einer Schirmung im Bereich der Leistungsstufen durch großzügig dimensionierte Masseflächen, sind auch entsprechende Abblockungen an den Betriebsspannungen erforderlich. Die einwandfreie Funktion kann nur mit einer professionellen, doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte, wie in unserem Bauersatz, sichergestellt werden.

Der hier vorgestellte Stereo-Leistungs-

**Bild 2: Blockschaltbild eines Stereo-Kanals**



verstärker mit bis zu 2 x 150 W Sinus-Ausgangsleistung ist zur Spannungsversorgung mit einem 450-VA-Ringkern-Netztransformator ausgestattet, der direkt auf die Leiterplatte montiert wird.

Da auch die Kühlkörper der Digital-Endstufen sich direkt auf der Leiterplatte befinden, besteht der komplette Stereo-Verstärker aus einer einzigen Leiterplattenkonstruktion.

Auf der Platine wird die primärseitige Netzspannungsversorgung frei geführt. Der Einbau in ein geschlossenes Gehäuse, unter Beachtung der geltenden VDE- und Sicherheitsvorschriften, ist daher unbedingt erforderlich.

Im Bereich des Kühlkörpers muss das Gehäuse eine ungehinderte Luftzirkulation ermöglichen. Das vorgesehene ELV-Metallgehäuse bietet dazu die Voraussetzungen.

### Blockschaltbild

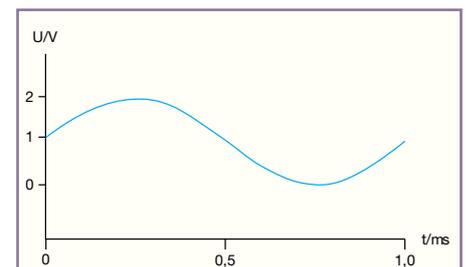
Das in Abbildung 2 dargestellte Blockschaltbild eines Stereo-Kanals verschafft einen ersten Überblick über die Funktionsweise des Digitalverstärkers. Mit Ausnahme der Endstufentransistoren und des zur Rekonstruktion des Ausgangssignals erforderlichen Tiefpass-Filters sind alle wichtigen Baugruppen im Verstärkermodul des Typs TA 0102A integriert.

Das an Pin 6 analog zugeführte Audiosignal wird chipintern in ein Digital-Signal gewandelt und dem integrierten Signalprozessor (DSP) zugeführt. Dieser übernimmt dann die Modulation der „High-Side“ und „Low-Side“-Treiber der Endstufen.

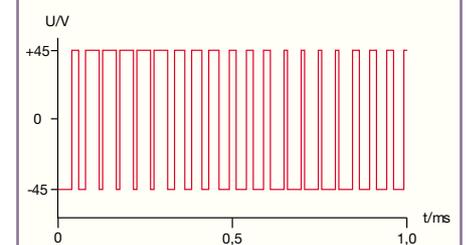
Über Gate-Vorwiderstände ( $R_G$ ) steuern wiederum diese Treiber die Leistungs-FETs T 1 und T 2. Die in den FETs fließen-

den Ströme werden mit Hilfe von Shunt-Widerständen erfasst und dienen im TA 0102 A zur Überstrom-Erkennung und somit zum Schutz der Endstufe. Des weiteren wertet der DSP diese Information für eine einwandfreie Steuerung aus.

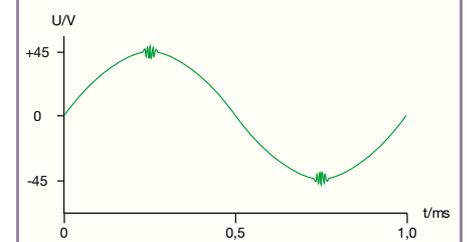
Aus einem sinusförmigen Audiosignal



**Bild 3a: Audio-Eingangssignal**



**Bild 3b: Digital-Signal in der Endstufe**



**Bild 3c: Lautsprecher-Ausgangssignal**

(Abbildung 3a) entsteht dann das in Abbildung 3b dargestellte Digital-Signal an den FETs.

Da dieses modulierte Signal nicht direkt auf die Lautsprecher gegeben werden kann, ist zur Rekonstruktion ein nachgeschaltetes Tiefpass-Filter erforderlich. Am Ausgang des Filters, d. h. direkt an den Lautsprechern, erhalten wir das in Abbildung 3c dargestellte Signal. Da HF-Restanteile vom Lautsprecher sowieso nicht wiedergegeben werden können, werden an der Filterkonstruktion keine besonders hohen Anforderungen gestellt. Um jedoch HF-Abstrahlungen im Bereich der Lautsprecherleitungen zu verhindern, sind die Lautsprecher-Ausgangsleitungen jeweils mit 5 Windungen durch einen Ferrit-Ringkern zu führen.

Doch kommen wir nun zum Schaltbild, das zur besseren Übersicht in drei Teilschaltbilder Verstärker, Spannungsversorgung und Lautsprecher-Schutzschaltung aufgeteilt wurde. Die detaillierte Schaltungsbeschreibung beginnen wir nun mit dem in Abbildung 4 dargestellten Verstärkerenteil, dessen zentrales Bauelement der Tripath-Baustein TA 0102 A ist.

### Verstärker-Schaltung

Das Audiosignal des linken Stereo-Kanals wird der Verstärkerschaltung (Abbildung 4) an der Cinch-Buchse BU 100 und des Audio-Signal des rechten Kanals an der Cinch-Buchse BU 200, jeweils mit Normpegel (775 mV), zugeführt. Von hieraus gelangen die Signale dann direkt auf die zugehörigen Anschlüsse des zur Lautstärkeeinstellung dienenden Stereo-Potis R 100.

Der Widerstand des Potis von 47 kΩ bestimmt gleichzeitig den Eingangswiderstand der Schaltung. Jeweils vom Schleifer des Lautstärkepotis gelangen die Audio-Informationen dann mit C 100 und C 200 galvanisch entkoppelt auf die in IC 3 integrierten Pufferverstärker.

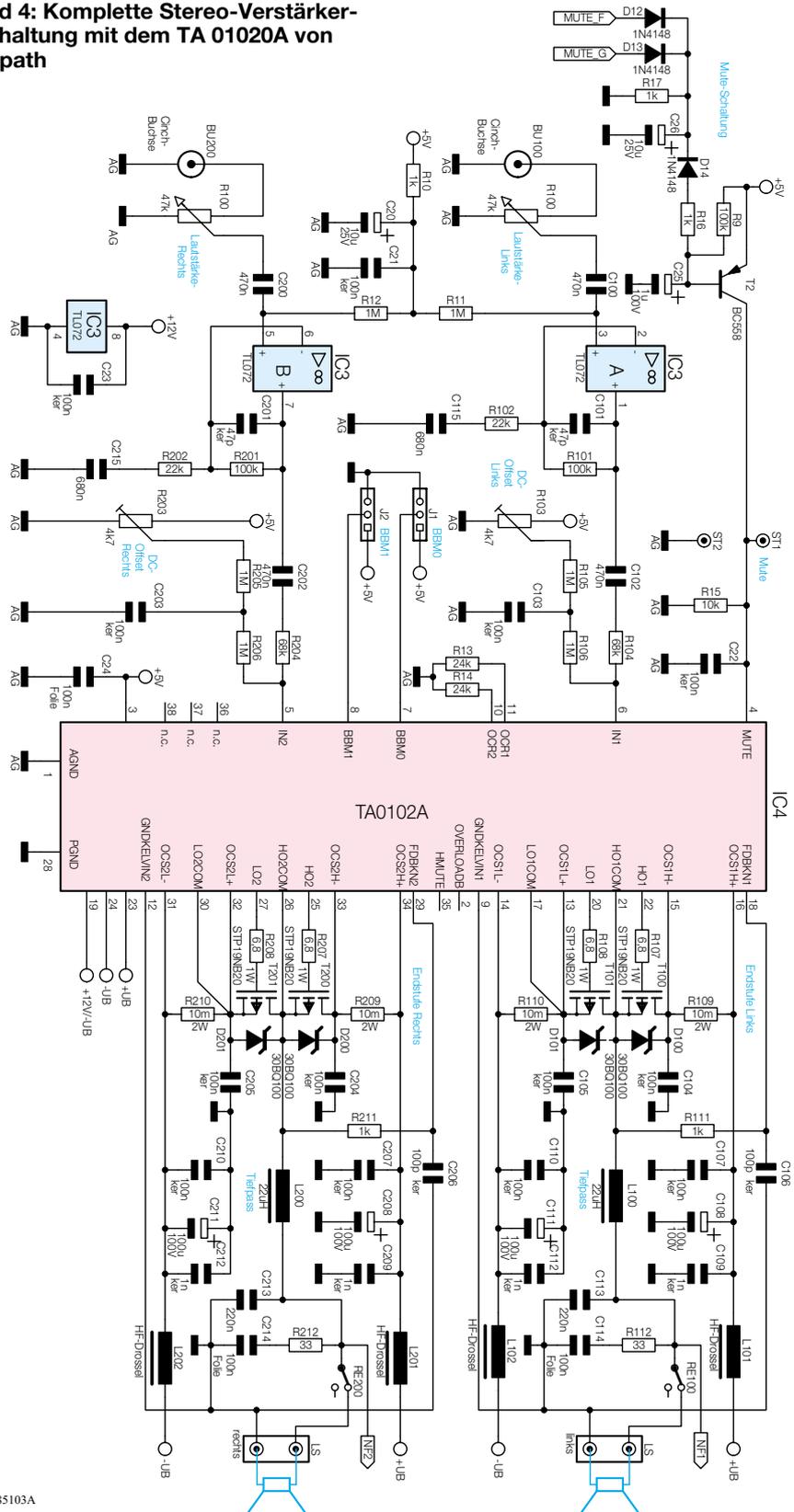
Über R 11 und R 12 liegt der Arbeitspunkt der Verstärkereingänge auf 5 V, wobei R 10, C 20 und C 21 zur Störunterdrückung dienen.

Die als nicht invertierende Verstärker arbeitenden Operationsverstärker nehmen eine ca. 5,5-fache Verstärkung vor und stellen das Signal am jeweiligen Ausgang niederohmig zur Verfügung.

Über C 102, R 104 sowie C 202, R 204 werden die Audiosignale direkt auf die zugehörigen Verstärkereingänge des TA 0102 A geführt.

Chipintern wird das Audio-Signal in ein Digital-Signal gewandelt und mit Hilfe eines digitalen Signalprozessors die Steuerung der Endstufen-Transistoren vorgenommen.

**Bild 4: Komplett Stereo-Verstärker-Schaltung mit dem TA 0102A von Tripath**



003185103A

In Form von Rechteck-Impulsen, bestehend aus einer Serie von High- und Low-Signalen, mit gleichbleibender Amplitude, steht das digitalisierte Audio-Signal des linken Kanals an Pin 22, Pin 20 und das Digital-Signal des rechten Kanals an Pin 25, Pin 27 zur Verfügung.

Diese digitalen Steuersignale dienen dann direkt über die Widerstände R 107,

R 108 bzw. R 207, R 208 zur Steuerung der Leistungs-FETs.

Im Gegensatz zu linear arbeitenden Audio-Verstärkern gibt es für die Endstufen-transistoren nur die beiden Betriebszustände „Sperren“ und „Durchgang“.

Je steiler die Schaltflanken, desto kürzer ist die Verweildauer der Transistoren im linearen Betrieb und somit die in Wärme

Verzögerungszeit	BBM 1 (Pin 8)	BBM 0 (Pin 7)
145 nS	Gnd	Gnd
105 nS	Gnd	+ 5 V
65 nS	+ 5 V	Gnd
25 nS	+ 5 V	+ 5 V

umzusetzende Verlustleistung. Zu steile Schaltflanken haben jedoch den Nachteil, dass Schalt-Tansienten hochfrequente Störungen verursachen, die oft nur mit erheblichem Aufwand zu beseitigen sind.

Neben den Schaltverlusten treten bei getakteten Verstärkern weitere Verluste durch den RDS-on-Widerstand der Power-MOSFET-Transistoren auf. Die von uns eingesetzten MOSFETs zeichnen sich durch einen sehr geringen RDS-on-Widerstand von 0,18  $\Omega$  aus.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Gate-Kapazität der Endstufentransistoren. Je geringer die Kapazität, desto geringer kann die zur Steuerung erforderliche Leistung sein. Mit typisch 1-nF-Gate-Sorce-Kapazität weisen die eingesetzten Transistoren auch hier hervorragende Werte auf.

Die Gate-Ansteuerung der Leistungs-FETs ist zudem besonders layoutkritisch. Zur Schwingneigungsunterdrückung ist auf möglichst kurze Steuerschleifen zu achten.

Die im Lastkreis der Endstufentransistoren fließenden Ströme werden mit Hilfe der Shunt-Widerstände R 109, R 110 sowie R 209 und R 210 erfasst und vom integrierten DSP zur Optimierung der Ansteuerung ausgewertet.

Zur HF-Abblockung im Bereich der Endstufen dienen die HF-Drosseln L 101, L 102, L 201, L202 sowie die an die Versorgungspins angeordneten Keramik-Kondensatoren. Weitere Schutzelemente sind die Bypass-Kondensatoren C 104, C 105 bzw. C 204, C 205 sowie die Shottky-Klemm-Dioden (D 100, D 101, D 201, D 202), die direkt an den Anschlusspins der Leistungstransistoren angeordnet sind. Überschwinger werden mit Hilfe dieser Bauelemente auf ein Mindestmaß reduziert.

Über R 111 bzw. R 211 erfolgt eine Rückkopplung des Ausgangssignals zum Steuermodul, wobei C 106 und C 206 zur HF-Unterdrückung dienen.

Die beiden MOSFET-Leistungstransistoren einer Endstufe dürfen zu keinem Zeitpunkt gleichzeitig durchgesteuert werden. Selbst Überlappungen im ns-Bereich sind nicht zulässig und können zur Zerstörung der Transistoren führen oder verursachen erhebliche Funkstörungen. Hier gilt grundsätzlich die Devise „break before make“.

Zur genauen Anpassung der Treiberaus-

gänge des Verstärkerbausteins an die Parameter der eingesetzten MOSFET-Endstufentransistoren sind mit Hilfe der Kodierbrücken J 1 und J 2 die in Tabelle 2 dargestellten Verzögerungszeiten einstellbar.

Die in unserem Verstärker eingesetzten Transistoren des Typs STP 19 NB 20 von Thomson benötigen hier eine Einstellung von 65 ns, d. h. BBM 0 ist mit + 5 V und BBM 1 mit der Schaltungsmasse zu verbinden.

Mit R 103 bzw. R 203 erfolgt jeweils am Verstärkereingang der DC-Offset-Abgleich des Verstärkerausgangs.

Die Widerstände R 13 und R 14 dienen zur Grenzwerteinstellung der Überstrom-Schutzschaltung. An den Pins 3, 19, 23 und 24 erhält das Verstärkermodul die zur Funktion erforderlichen unterschiedlichen Betriebsspannungen.

Zur Rekonstruktion der Audio-Informationen ist dann jeweils ein nachgeschalteter Tiefpass-Ausgangfilter, aufgebaut mit L 100, C 113 bzw. L 200, C 213, erforderlich. Weiterhin dienen diese Filter zur Einhaltung der EMV-Vorschriften, da schließlich in der Endstufe Signalkomponenten im Frequenzbereich von 200 kHz bis 50 MHz auftreten, die ohne Filter über die Lautsprecherleitungen abgestrahlt würden.

Die jeweils parallel zum Lautsprecheranschluss liegende RC-Kombination R 112, C 114 (linker Kanal) und R 212, C 214 (rechter Kanal) dienen zur Störunterdrückung. An Lautsprecher-Klemmanschlüssen erfolgt letztendlich die Signalauskopplung.

Knackgeräusche im Ein- und Ausschaltmoment werden über die Mute-Schaltung verhindert. Dazu dient die mit T 2 und externe Komponenten aufgebaute Schaltung, deren Funktion relativ einfach ist.

Im Einschaltmoment wird der Transistor T 2 durchgesteuert, da sich C 25 nur langsam über R 9 aufladen kann. Solange der Mute-Eingang des TA 0102 (Pin 4) „High-Pegel“ führt, bleibt der Ausgang stumm geschaltet. Sofort nach Einschalten

der Netzspannung wird D 14 in den Sperrzustand versetzt, da C 26 über D 12 und D 13 schnell aufgeladen wird.

Im Ausschaltmoment hingegen wird C 26 über R 17 entladen bevor die Spannung des Netzteils zusammenbrechen kann. Dies wiederum bewirkt das sofortige Durchschalten des Transistors T 2, so dass der TA 0102 A in den Mute-Mode geschaltet wird, bevor die Betriebsspannungen zusammenbrechen.

## Lautsprecher-Schutzschaltung

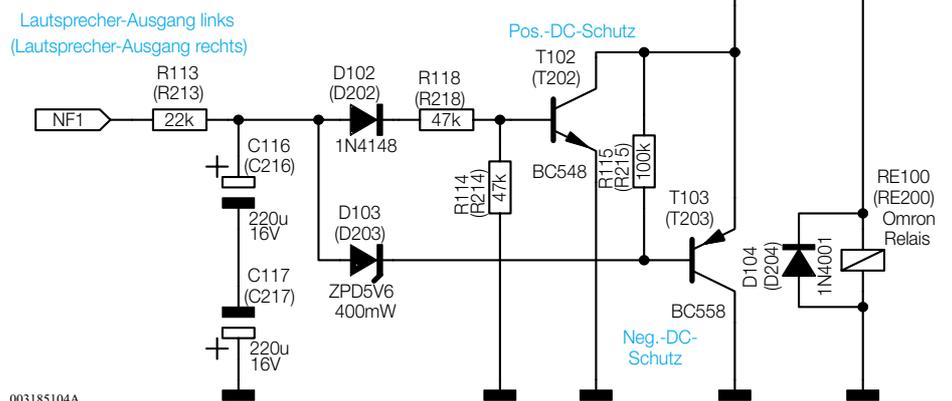
Sobald im Fehlerfall (z. B. defekte Endstufentransistoren) an einem Verstärker-ausgang unzulässig hohe Gleichspannungen auftreten, hat die Schutzschaltung (Abbildung 5) die Aufgabe, die Lautsprecher sofort vom Verstärker-ausgang zu trennen.

Da die Lautsprecher-Schutzschaltung des rechten und linken Stereo-Kanals vollkommen identisch aufgebaut sind, ist in Abbildung 5 nur das Schaltbild eines Kanals dargestellt.

Die direkten Bauteilbezeichnungen beziehen sich dabei auf den linken Stereo-Kanal und die Bauteil-Nummerierungen des rechten Kanals stehen in Klammern. Das Lautsprecher-Ausgangssignal der Endstufe gelangt zunächst auf einen mit R 113, C 116 und C 117 aufgebauten Tiefpass, dessen Grenzfrequenz mit ca. 0,07 Hz sehr tief ist. Solange vom Lautsprecher-ausgang des Verstärkers eine reine Wechselspannung abgegeben wird, stellt sich an C 116, C 117 ein arithmetischer Mittelwert von 0 ein.

Wird im Fehlerfall das NF-Signal durch eine Gleichspannung überlagert oder liegt eine reine Gleichspannung am Verstärker-ausgang an, so werden die Elkos C 116,

**Bild 5: Lautsprecher-Schutzschaltung eines Stereo-Kanals**



003185104A

C 117 entsprechend der Polarität der Gleichspannung aufgeladen.

Bei einer positiven Gleichspannung von mehr als 2 V gegenüber Masse-Potential wird über D 102, R 118 der Transistor T 102 durchgesteuert, der wiederum den Transistor T 104 in den leitenden Zustand versetzt. Das im Kollektorkreis dieses Transistors geschaltete Relais trennt dann den Lautsprecher vom Verstärker Ausgang.

Stellt sich am Verstärker Ausgang eine negative Gleichspannung gegenüber Schaltungsmasse ein, so wird über D 103 der Transistor T 103 durchgesteuert. Dieser

Transistor übernimmt dann die Steuerung des Relais treibers (T 104).

### Schaltung des Netzteils

Die Netzteilerschaltung unseres Hochleistungs-Digital-Verstärkers ist in Abbildung 6 zu sehen. An der Netzanschlussklemme KL 1 wird die 230-V-Netzspannung zugeführt, die über die Netz-Sicherung SI 1 zunächst auf den zweipoligen Netzschalter S 1 gelangt. Über eine stromkompensierte Ringkern drossel (L 1) und die Parallelschaltung aus R 2 und RE 1 gelangt die

Netzspannung dann auf die Primärwicklung des 450-VA-Netztransformators TR 1.

Unmittelbar nach dem Einschalten wird der Eingangsstrom durch den NTC-Widerstand R 2 begrenzt. Durch diese Maßnahme wird das unerwünschte Ansprechen von Haus-Sicherungsautomaten verhindert, da der Trafo im Einschaltmoment eine sehr hohe Stromaufnahme hat.

Ungefähr 20 ms nach Anlegen der Netzspannung aktiviert die mit T 1, C 2, R 1 und D 1 aufgebaute Verzögerungsschaltung das Leistungs-Relais RE 1 und legt den Ringkerntrafo direkt an die 230-V-Netz-Wechselspannung.

Sekundärseitig ist der Trafo mit zwei Leistungs-Wicklungen (je 32,5 V/6,6 A) und zwei Hilfswicklungen zur Versorgung der Steuerelektronik ausgestattet.

Die beiden Hauptwicklungen im oberen Bereich des Schaltbildes sind vollkommen identisch ausgeführt und speisen die beiden mit GL 1 aufgebauten Mittelpunkt-Zweige-Gleichrichterschaltungen. Die unstabilierten Endstufen-Versorgungsspannungen von + 45 V und - 45 V stehen dann an die Pufferelkos C 7 und C 9 an.

Im Bereich der Dioden-Schaltsschwellen sorgen die Kondensatoren C 3 bis C 6 zur Störimpulsunterdrückung. C 8 und C 10 dienen zur HF-Stör-Abblockung und die Widerstände R 3 bis R 6 entladen die Pufferelkos im ausgeschalteten Zustand.

Die nächste Sekundärwicklung speist den mit D 2 bis D 5 aufgebauten Brückengleichrichter. Mit C 11 wird die unstabilierte Spannung gepuffert und mit dem Festspannungsregler IC 1 des Typs 7805 wird eine positive Spannung von 5 V erzeugt. Diese Spannung dient dann zur Versorgung des Prozessorteils im Verstärkermodul. Zur Störunterdrückung sind C 12 und C 13 vorhanden und C 14 übernimmt eine Pufferung am Ausgang des Reglers im Ausschaltmoment, da diese Spannung zuletzt abfallen muss.

Zur Signalisierung der Betriebsbereitschaft des Verstärkers dient die über R 7 mit Spannung versorgte Kontroll-LED D 10.

Die Wechselspannung der unteren Trafo-Wicklung wird mit D 6 bis D 9 gleichgerichtet. C 15 dient hier zur Pufferung der unstabilierten Spannung und mit dem Festspannungsregler IC 2 wird eine positive Spannung von + 12 V erzeugt, die nicht auf Schaltungsmasse, sondern auf -UB bezogen ist. Die Keramik-Kondensatoren C 16, C 17 sowie der Elko C 18 dienen auch hier zur Stör- und Schwingneigungsunterdrückung. Damit ist bereits die komplette Schaltungsbeschreibung dieses innovativen Audio-Leistungsverstärkers abgeschlossen. Im zweiten Teil dieses Artikels („ELVjournal“ 4/2000) erfolgt dann die ausführliche Beschreibung des praktischen Aufbaus.

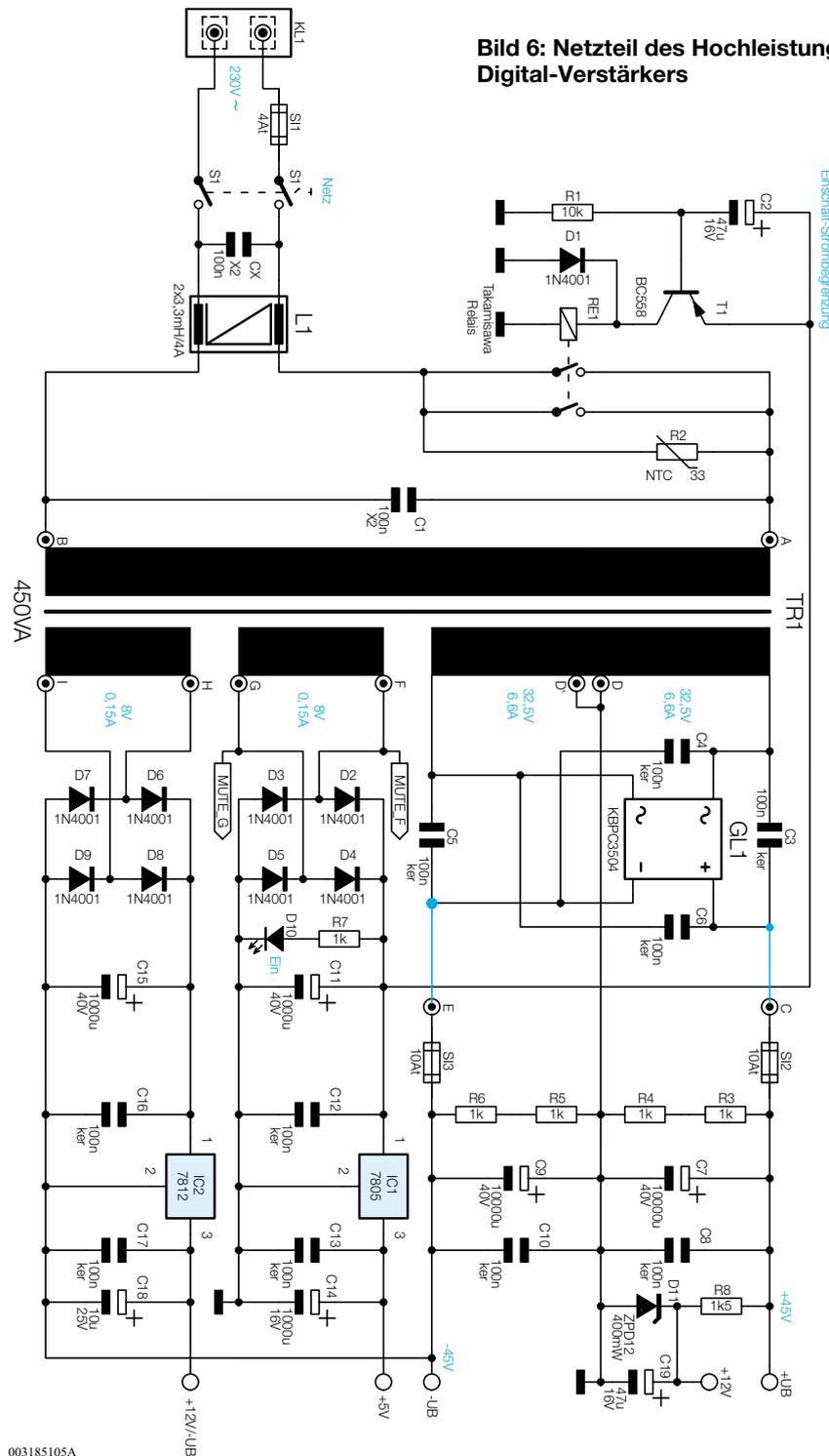


Bild 6: Netzteil des Hochleistungs-Digital-Verstärkers